



⑮ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 101 06 860 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 11 C 11/15**

⑳ Aktenzeichen: 101 06 860.3  
㉔ Anmeldetag: 14. 2. 2001  
④③ Offenlegungstag: 30. 8. 2001

DE 101 06 860 A 1

③① Unionspriorität:  
00-039167 17. 02. 2000 JP  
00-039168 17. 02. 2000 JP  
  
㉑ Anmelder:  
Sharp K.K., Osaka, JP  
  
㉑④ Vertreter:  
Patentanwälte MÜLLER & HOFFMANN, 81667  
München

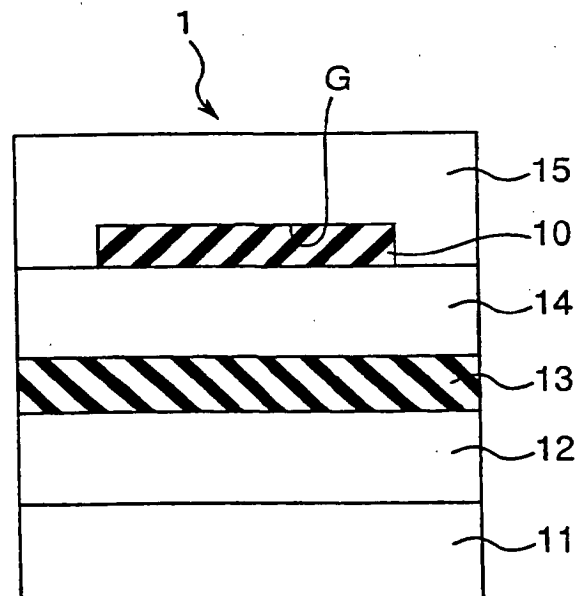
㉑② Erfinder:  
Michijima, Masashi, Kyoto, JP; Hayashi, Hidekazu,  
Tenri, Nara, JP; Minakata, Ryoji, Nara, JP

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ MTJ-Element und Magnetspeicher unter Verwendung eines solchen

- ⑤⑦ Ein MTJ-Element (1, 2, 3) weist Folgendes auf:
- eine erste magnetische Schicht (12, 22) und eine zweite, als Speicherschicht dienende magnetische Schicht (14, 24);
  - eine erste Isolierschicht (13, 23), die zwischen der ersten und zweiten magnetischen Schicht angeordnet ist; und
  - eine dritte magnetische Schicht (15, 25), die auf der von der ersten Isolierschicht abgewandten Seite der zweiten magnetischen Schicht vorhanden ist, um gemeinsam mit der zweiten magnetischen Schicht einen geschlossenen Magnetkreis zu bilden.



DE 101 06 860 A 1

Die Erfindung betrifft ein MTJ (Magnet Tunnel Junction = magnetischer Tunnelübergang)-Element und einen Magnetspeicher unter Verwendung eines solchen.

In der letzten Zeit wurde die Anwendung von MTJ-Elementen bei magnetischen Abspielköpfen für Festplatten-Laufwerke und Magnetspeicher erörtert, da derartige Elemente ein stärkeres Ausgangssignal im Vergleich mit herkömmlichen AMR (anisotroper Magnetwiderstand)-Elementen und GMR (Riesenmagnetowiderstand)-Elementen liefern.

Insbesondere sind Magnetspeicher, die Festkörperspeicher ohne betätigte Teile, ähnlich wie Halbleiterspeicher, sind, von besonderem Nutzen, da sie gegenüber Halbleiterspeichern die folgenden Eigenschaften aufweisen: die in ihnen gespeicherte Information geht auch beim Wegnehmen der Spannungsversorgung nicht verloren; die Anzahl wiederholter Schreibvorgänge ist unendlich, d. h., dass für unendliche Lebensdauer gesorgt ist; es besteht keine Gefahr des Zerstörens des aufgezeichneten Inhalts, und zwar selbst dann nicht, wenn sie z. B. radioaktiver Strahlung usw., ausgesetzt werden.

Ein Beispiel für den Aufbau eines herkömmlichen MTJ-Elements ist derjenige, wie er in JP-A-9-16514 angegeben und in der beigefügten Fig. 12 dargestellt ist.

Das MTJ-Element gemäß Fig. 12 besteht aus einer antiferromagnetischen Schicht 41, einer ferromagnetischen Schicht 42, einer Isolierschicht 43 und einer ferromagnetischen Schicht 44. Für die antiferromagnetische Schicht 41 ist eine Legierung wie FeMn, NiMn, PtMn oder IrMn verwendet. Für die ferromagnetischen Schichten 42 und 43 ist Fe, Co, Ni oder eine Legierung davon verwendet. Ferner wurden für die Isolierschicht 43 verschiedene Oxide und Nitride untersucht, und es ist bekannt, dass das höchste Magnetowiderstands (MR)-Verhältnis dann erzielt wird, wenn ein  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Film verwendet wird.

Außerdem wurde ein MTJ-Element ohne die antiferromagnetische Schicht 41 vorgeschlagen, bei dem die Differenz der Koerzitivfeldstärken zwischen den ferromagnetischen Schichten 42 und 44 genutzt wird.

Fig. 13 veranschaulicht das Betriebsprinzip eines MTJ-Elements mit dem in Fig. 12 dargestellten Aufbau, das bei einem Magnetspeicher verwendet wird.

Die Magnetisierungen der beiden ferromagnetischen Schichten 42 und 44 liegen innerhalb der Filmfläche, und sie verfügen in solcher Weise über eine effektive uniaxiale magnetische Anisotropie, dass die Magnetisierungen dieser Schichten einander parallel oder antiparallel sind. Die Magnetisierung der ferromagnetischen Schicht 42 wird durch die Austauschkopplung mit der antiferromagnetischen Schicht 41 im Wesentlichen in einer Richtung fixiert, und der aufgezeichnete Inhalt wird entsprechend der Magnetisierungsrichtung der ferromagnetischen Schicht 44 gespeichert.

Der Widerstand eines MTJ-Elements differiert abhängig davon, ob die Magnetisierung der als Speicherschicht dienenden ferromagnetischen Schicht 44 parallel oder antiparallel zur Magnetisierungsrichtung der ferromagnetischen Schicht 42 ist. Unter Ausnutzung der Differenz zwischen den magnetischen Widerständen wird dadurch Information aus dem MTJ-Element gelesen, dass sein magnetischer Widerstand erfasst wird. Andererseits wird Information dadurch in ein MTJ-Element eingeschrieben, dass die Magnetisierungsrichtung in der ferromagnetischen Schicht 44 unter Verwendung eines Magnetfelds geändert wird, das durch in der Nähe des MTJ-Elements positionierte Stromleitungen erzeugt wird.

In einem MTJ-Element mit dem obigen Aufbau werden die ferromagnetischen Schichten 42 und 44 parallel zur Schichtfläche magnetisiert, und so werden an entgegengesetzten Endabschnitten dieser Schichtflächen Magnetpole erzeugt. Um die Packungsdichte oder den Integrationsgrad des Magnetspeichers zu erhöhen, ist eine Größenverringierung der MTJ-Elemente erforderlich. Wenn jedoch diese Elemente verkleinert werden, wird der Einfluss des diamagnetischen Felds aufgrund der Magnetpole an den entgegengesetzten Endabschnitten größer.

Da die ferromagnetische Schicht 42 mit der antiferromagnetischen Schicht 41 austauschgekoppelt ist, ist der Einfluss des diamagnetischen Felds auf die ferromagnetische Schicht 42 klein. Ferner ist es möglich, Magnetpole an den Endabschnitten dadurch im Wesentlichen zu beseitigen, dass die ferromagnetische Schicht 42 aus zwei ferromagnetischen Schichten aufgebaut wird, die antiferromagnetisch miteinander gekoppelt sind, wie es in US-A-5,841,692 offenbart ist.

Jedoch kann für die ferromagnetische Schicht 42, die als Speicherschicht dienen soll, keine ähnliche Technik verwendet werden. So wird die Magnetisierung der ferromagnetischen Schicht 44 bei einem feineren Muster aufgrund des Einflusses der Magnetpole an den Endabschnitten instabil, was es erschwert, dass die ferromagnetische Schicht 44 ihren Aufzeichnungsinhalt beibehält.

Das Dokument JP-A-11-163436 offenbart, dass zum Erzielen einer Erhöhung der Ausgangsspannung drei ferromagnetische Schichten und zwei Isolierschichten abwechselnd aufeinander ausgebildet werden, um dadurch zwei magnetische Tunnelübergänge in einem MTJ-Element auszubilden. Ein solches MTJ-Element erzeugt ein Ausgangssignal, das ungefähr das Doppelte eines MTJ-Elements mit einem einzelnen magnetischen Tunnelübergang ist. Da jedoch die drei ferromagnetischen Schichten entlang ihren Schichtflächen magnetisiert sind, tritt ein Problem ähnlich wie das oben beschriebene auf, das dem MTJ-Element der Fig. 12 eigen ist.

Ferner wird es bei einer Verkleinerung der Fläche einer Speicherzelle in einem magnetischen Dünnschichtspeicher unmöglich, das diamagnetische Feld (Selbstentmagnetisierungsfeld) zu ignorieren, das innerhalb der magnetischen Schicht auftritt. Aufgrund dieses Felds ist die Magnetisierung der Information speichernden magnetischen Schicht nicht in einer Richtung fixiert, so dass sie instabil wird. Als Lösung für dieses Problem offenbaren die Dokumente JP-A-10'302456 und JP-A-10'302457 einen Laminatfilm aus einer ersten magnetischen Schicht, einer unmagnetischen Schicht und einer zweiten magnetischen Schicht, die gemeinsam eine Speicherzelle aufbauen, wobei eine dritte magnetische Schicht zu beiden Seiten des Laminatfilms vorhanden sind, so dass ein geschlossener Magnetkreis gebildet wird, der mittels der ersten, zweiten und dritten magnetischen Schicht die unmagnetische Schicht umgibt, wenn ein externes Magnetfeld null ist.

Ein MTJ-Element, bei dem ein extrem dünner Isolierfilm als unmagnetische Schicht des Laminatfilms ausgebildet ist, zeigt eine starke Änderung des Magnetowiderstands, und so wird das Element als vielversprechende Speicherzelle mit hohem Ausgangssignal angesehen. In diesem Fall muss die dritte Schicht aus einem isolierenden Material hergestellt werden. Jedoch ist es extrem schwierig, mit derzeit verfügbaren Techniken eine isolierende magnetische Schicht mit einer Koerzitivfeldstärke herzustellen, die ausreichend niedrig dafür ist, eine Struktur mit geschlossenem Magnetkreis zu erzielen. Demgemäß ist dies unrealistisch.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein MTJ-Element zu schaffen, das es ermöglicht, dass der in einer Spei-

cherschicht aufgezeichnete Magnetisierungszustand selbst dann stabil aufrechterhalten bleibt, wenn feinere Muster als bisher verwendet werden, und auch einen Magnetspeicher unter Verwendung eines derartigen MTJ-Elements zu schaffen.

Diese Aufgabe ist hinsichtlich des MTJ-Elements durch die Lehre des beigefügten Anspruchs 1 und hinsichtlich des Magnetspeichers durch die Lehre des beigefügten Anspruchs 12 gelöst.

Beim erfindungsgemäßen MTJ-Element ist der Einfluss der Magnetpole an den Endabschnitten verringert. Daher bleibt der Magnetisierungszustand selbst dann stabil aufrechterhalten, wenn für das MTJ-Element ein feineres Muster verwendet wird. Ferner ist das erfindungsgemäße MTJ-Element gegen ein externes Streumagnetfeld stabil, da die als Speicherschicht dienende ferromagnetische Schicht eine geschlossene Magnetkreisstruktur bildet.

Ferner ist es möglich, einen Magnetspeicher mit höherem Integrationsgrad zu schaffen, der weniger Energie verbraucht, da das bei einem solchen verwendete erfindungsgemäße MTJ-Element den Magnetisierungszustand dank des verringerten Einflusses der Magnetpole an den Endabschnitten selbst dann stabil aufrechterhalten kann, wenn ein feineres Muster für es verwendet ist.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des MTJ-Elements sind Gegenstand der beigefügten unabhängigen Ansprüche 2 bis 11.

Andere Aufgaben, Merkmale und Vorteile der Erfindung gehen aus der folgenden Beschreibung hervor. Aus dieser Beschreibung und den beigefügten Zeichnungen, die nur zur Veranschaulichung dienen und demgemäß für die Erfindung nicht beschränkend sind, wird die Erfindung vollständiger zu verstehen sein.

**Fig. 1 bis 3** zeigen Konfigurationsbeispiele erfindungsgemäßer MTJ-Elemente;

**Fig. 4** zeigt ein Konfigurationsbeispiel eines Magnetspeichers unter Verwendung eines erfindungsgemäßen MTJ-Elements;

**Fig. 5** zeigt ein Positionierungsbeispiel für eine Wortleitung und eine Bitleitung in einem Magnetspeicher unter Verwendung eines erfindungsgemäßen MTJ-Elements als Speicherzelle;

**Fig. 6 bis 8** zeigen weitere Konfigurationsbeispiele erfindungsgemäßer MTJ-Elemente;

**Fig. 9** zeigt ein Konfigurationsbeispiel eines Magnetspeichers unter Verwendung eines erfindungsgemäßen MTJ-Elements als Speicherzelle;

**Fig. 10** zeigt ein Positionierungsbeispiel für eine Wortleitung und eine Bitleitung in einem Magnetspeicher unter Verwendung eines erfindungsgemäßen MTJ-Elements als Speicherzelle;

**Fig. 11** zeigt noch ein anderes Konfigurationsbeispiel eines erfindungsgemäßen MTJ-Elements;

**Fig. 12** zeigt ein Konfigurationsbeispiel eines herkömmlichen MTJ-Elements und

**Fig. 13** zeigt das Betriebsprinzip des für einen Magnetspeicher verwendeten herkömmlichen MTJ-Elements.

#### Beispiel 1

Das in **Fig. 1** dargestellte Konfigurationsbeispiel eines erfindungsgemäßen MTJ-Elements **1** verfügt über eine antiferromagnetische Schicht **11**, eine ferromagnetische Schicht **12**, eine Isolierschicht **13**, eine als Speicherschicht dienende ferromagnetische Schicht **14**, eine unmagnetische Schicht **10** und eine Schicht (ferromagnetische Schicht) **15**, die einen geschlossenen Magnetkreis bildet. Die letztere Schicht wird nachfolgend als Magnetkreis-Erzeugungsschicht **15**

bezeichnet. Die ferromagnetische Schicht **14** und die Magnetkreis-Erzeugungsschicht **15** sind an ihren beiden entgegengesetzten Endabschnitten direkt miteinander verbunden, jedoch in mittleren Abschnitten voneinander getrennt oder beabstandet, um dazwischen einen Spalt **G** zu bilden. Der Spalt **G** ist mit einer unmagnetischen Schicht (einer Isolierschicht bei diesem Beispiel) **10** gefüllt.

Wie es in **Fig. 1** dargestellt ist, bilden die Magnetisierungen der ferromagnetischen Schicht **14** und der Magnetkreis-Erzeugungsschicht **15** dadurch einen geschlossenen Kreis, dass die letztere auf die erstere aufgelegt ist. Dies ermöglicht es, die Erzeugung von Magnetpolen an den Endabschnitten der ferromagnetischen Schicht **14** zu vermeiden.

Ferner sind die antiferromagnetische Schicht **11** und die ferromagnetische Schicht **12** miteinander austauschgekoppelt. Die Magnetisierungsrichtung der ferromagnetischen Schicht **12** ist fixiert.

Als Material für die antiferromagnetische Schicht **11** kann eine Legierung wie FeMn, NiMn, PtMn oder IrMn verwendet werden. Als Materialien der ferromagnetischen Schichten **12**, **14** und der Magnetkreis-Erzeugungsschicht **15** können Metalle wie Fe, Co und Ni oder Legierungen hiervon verwendet werden. Ferner ist als Material der Isolierschicht **13** angesichts des MR-Verhältnisses  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bevorzugt. Alternativ kann die Isolierschicht **13** aus einem anderen Oxid oder einem Nitrid hergestellt werden. Ferner kann auch ein Si-Film, ein Diamantfilm oder ein Film aus diamantförmigem Kohlenstoff (DLC = Diamond-like Carbon) verwendet werden.

Es ist bevorzugt, dass die ferromagnetischen Schichten **12**, **14** und die Magnetkreis-Erzeugungsschicht **15** Filmdicken von mindestens 1 nm aufweisen. Der Grund hierfür besteht darin, dass dann, wenn die Filmdicke zu gering ist, diese ferromagnetischen Schichten die Tendenz zeigen, aufgrund des Einflusses der thermischen Energie superparamagnetisch zu werden.

Ferner weist die Isolierschicht **13** vorzugsweise eine Filmdicke im Bereich von 0,3 bis 3 nm auf. Der Grund hierfür ist der folgende. Wenn die Isolierschicht **13** eine Filmdicke unter 0,3 nm aufweist, besteht die Möglichkeit, dass die ferromagnetischen Schichten **12** und **14** kurzgeschlossen werden. Andererseits tritt kaum Tunneln von Elektronen auf, wenn die Isolierschichten **13** eine Filmdicke von über 3 nm aufweisen, was zu einer Verringerung der Magnetowiderstands(MR)-Verhältnisse führt.

Das MTJ-Element **1** des Beispiels 1 kann auch über eine Struktur verfügen, bei der die ferromagnetische Schicht **14** und die Magnetkreis-Erzeugungsschicht **15** an ihren Endabschnitten über ferromagnetische Schichten **19**, **19'** miteinander verbunden sind, wobei ihre mittleren Abschnitte mittels der unmagnetischen Schicht **10** voneinander getrennt sind, wie es in den **Fig. 2** und **3** dargestellt ist. Beim in **Fig. 2** dargestellten Beispiel sind die ferromagnetischen Schichten **19**, **19'** einzeln zwischen den einander gegenüberstehenden Flächen der ferromagnetischen Schicht **14** und der Magnetkreis-Erzeugungsschicht **15** vorhanden. Beim Beispiel der **Fig. 3** sind die ferromagnetischen Schichten **19**, **19'** einzeln in Kontakt miteinander gegenüberstehenden Seitenflächen der ferromagnetischen Schicht **14** und der Magnetkreis-Erzeugungsschicht **15** vorhanden.

**Fig. 4** zeigt schematisch einen wesentlichen Teil einer magnetischen RAM-Zelle, die aus einem erfindungsgemäßen MTJ-Element **1** besteht. Obwohl ein Magnetspeicher tatsächlich viele Speicherzellen enthält, ist in **Fig. 4** der Einfachheit halber nur ein Teil mit einer einzigen Speicherzelle dargestellt.

Ein Transistor **121** spielt die Rolle des Auswählens des zugehörigen MTJ-Elements **1** beim Lesen von Information.

Im MTJ-Element 1 ist entsprechend der Magnetisierungsrichtung der ferromagnetischen Schicht 14 des Elements die Information "0" oder "1" aufgezeichnet. Die Magnetisierungsrichtung der ferromagnetischen Schicht 12 ist fixiert. Die Information wird unter Verwendung des Magnetowiderstandseffekts dadurch gelesen, dass der Widerstand dann niedrig ist, wenn die Magnetisierungen der ferromagnetischen Schichten 12 und 14 parallel zueinander verlaufen, während er hoch ist, wenn sie antiparallel zueinander verlaufen. Andererseits erfolgt ein Schreibvorgang durch Umkehren der Magnetisierungsrichtungen der ferromagnetischen Schicht 14 und der Magnetkreis-Erzeugungsschicht 15, wobei das sich ergebende Magnetfeld durch eine Bitleitung 122 und eine Wortleitung 123 erzeugt wird. Die Bezugszahl 124 kennzeichnet eine Plattenleitung.

Fig. 5 zeigt ein Beispiel für die Positionierung der Bitleitung (Leiterbahn) 122 und der Wortleitung (Leiterbahn) 123. In Fig. 5 sind die Bitleitung 122 und die Wortleitung 123 innerhalb des zentralen Spalts G durch den Isolierfilm 10 positioniert. Durch diese Vorgehensweise ist die Stromstärke gesenkt, die dazu erforderlich ist, die Magnetisierungsrichtung der ferromagnetischen Schicht 14 und der Magnetkreis-Erzeugungsschicht 15 umzukehren. So kann der Energieverbrauch des Magnetspeichers gesenkt werden. Beim Beispiel der Fig. 5 ist die Wortleitung 123 über der Bitleitung 122 positioniert.

Für die Positionierung der Bitleitung und der Wortleitung besteht keine Beschränkung auf die in Fig. 5 dargestellte. Es ist auch möglich, die Bitleitung und die Wortleitung so anzubringen, dass sie koplanar zueinander sind. Alternativ können beide Leitungen, oder nur eine, außerhalb des MTJ-Elements in dessen Nähe vorhanden sein, was zu einer Vereinfachung des Herstellprozesses führt.

Ferner sind in Fig. 5 sowohl die Bitleitung 122 als auch die Wortleitung 123 durch die Isolierschicht 10 elektrisch gegen die ferromagnetische Schicht 12 und die Magnetkreis-Erzeugungsschicht 15 isoliert. Alternativ kann eine der Leitungen mit der ferromagnetischen Schicht 14 und der Magnetkreis-Erzeugungsschicht 15 verbunden sein, um als Elektrode zum Erfassen einer Widerstandsänderung zu dienen.

Obwohl die Magnetisierung der ferromagnetischen Schicht 12 durch die Austauschkopplung mit der antiferromagnetischen Schicht 11 fixiert ist, ist es möglich, andere Maßnahmen zu ergreifen, wie ein ferromagnetisches Material mit großer Koerzitivfeldstärke.

Wenn die ferromagnetische Schicht 12 aus zwei ferromagnetischen Schichten besteht, die antiferromagnetisch über eine Metallschicht miteinander gekoppelt sind, kann der Einfluss der Magnetpole, die an den Endabschnitten der ferromagnetischen Schicht 12 auftreten, verringert werden. Eine Verringerung des Einflusses der Magnetpole an den Endabschnitten wird auch dadurch erzielt, dass die ferromagnetische Schicht 12 aus einem ferrimagnetischen Material hergestellt wird, wie einer Seltenerdmetall-Übergangsmetall-Legierung mit einer Zusammensetzung um den Kompensationspunkt herum.

Es ist auch möglich, die jeweiligen Schichten mit umgekehrter Reihenfolge gegenüber der in Fig. 1 dargestellten aufzustapeln.

Obwohl bei diesem Beispiel eine geschlossene Magnetkreisstruktur nur für eine der ferromagnetischen Schichten, nämlich die ferromagnetische Schicht 14, ausgebildet ist, kann eine solche auch für beide ferromagnetischen Schichten, d. h. die ferromagnetischen Schichten 12 und 14, ausgebildet werden. Wenn für die ferromagnetische Schicht 12 eine geschlossene Magnetkreisstruktur erzeugt wird, wird die Schicht zum Erzeugen des geschlossenen Magnetkreises

unter der ferromagnetischen Schicht 12 positioniert.

#### Beispiel 2

Das in Fig. 6 dargestellte MTJ-Element 2 gemäß dem Beispiel 2 der Erfindung ist so aufgebaut, dass auf der Magnetkreis-Erzeugungsschicht 15 des MTJ-Elements 1 in Fig. 1 zusätzlich eine Isolierschicht 16, eine ferromagnetische Schicht 17 und eine antiferromagnetische Schicht 18 vorhanden sind. D. h., dass das MTJ-Element 2 in Fig. 6 eine antiferromagnetische Schicht 11, eine ferromagnetische Schicht 12, eine Isolierschicht 13, eine als Speicherschicht dienende ferromagnetische Schicht 14, eine unmagnetische Schicht 10, eine Magnetkreis-Erzeugungsschicht 15, eine Isolierschicht 16, eine ferromagnetische Schicht 17 und eine antiferromagnetische Schicht 18 aufweist. Die ferromagnetische Schicht 14 und die Magnetkreis-Erzeugungsschicht 15 sind an ihren beiden Endabschnitten direkt miteinander verbunden, jedoch in ihren mittleren Abschnitten voneinander getrennt oder beabstandet, um zwischen ihnen einen Spalt G auszubilden. Der Spalt G ist mit der unmagnetischen Schicht 10 (einer Isolierschicht bei diesem Beispiel) gefüllt.

Wie oben in Zusammenhang mit dem Beispiel 1 beschrieben, ermöglicht es das Verlegen der Magnetkreis-Erzeugungsschicht 15 auf der ferromagnetischen Schicht 14, dass die Magnetisierungen dieser zwei Schichten 14 und 15 einen geschlossenen Kreis bilden. Im Ergebnis ist es möglich, die Erzeugung von Magnetpolen an den Endabschnitten der ferromagnetischen Schicht 14 zu vermeiden.

Ferner sind die antiferromagnetische Schicht 11 und die ferromagnetische Schicht 12 miteinander austauschgekoppelt, und die antiferromagnetische Schicht 18 und die ferromagnetische Schicht 17 sind ebenfalls miteinander austauschgekoppelt, so dass die Magnetisierungsrichtung dieser ferromagnetischen Schichten 12 und 17 fixiert sind.

Als Materialien für die ferromagnetischen Schicht 12, 14 und 17 und die Magnetkreis-Erzeugungsschicht 15 können die Metalle Fe, Co oder Ni oder eine Legierung derselben verwendet werden. Als Materialien für die antiferromagnetischen Schichten 11 und 18 können Legierungen wie FeMn, NiMn, PtMn oder IrMn verwendet werden.

Für die Isolierschichten 13 und 16 ist angesichts der Änderungsrate des Widerstands ein  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Film bevorzugt, wobei jedoch ein anderes Oxid und auch ein Nitrid verwendet werden kann. Ferner kann auch ein Isolator mit kovalenten Bindungen verwendet werden, wie ein Si-Film, ein Diamantfilm und ein Film aus diamantförmigem Kohlenstoff (DLC-Film).

Das MTJ-Element 2 speichert Information in Form der Magnetisierungsrichtung im geschlossenen Kreis aus der ferromagnetischen Schicht 14 und der Magnetkreis-Erzeugungsschicht 15. Die gespeicherte Information wird dadurch gelesen, dass eine Änderung des Widerstands erfasst wird, der dadurch erzeugt wird, dass die Magnetisierungsrichtung des geschlossenen Kreises aus der ferromagnetischen Schicht 14 und der Magnetkreis-Erzeugungsschicht 15 parallel oder antiparallel zu den Magnetisierungsrichtungen der ferromagnetischen Schichten 12 und 17 verläuft.

Es ist ersichtlich, dass die Magnetisierungen der ferromagnetischen Schichten 12 und 17 durch Austauschkopplung mit den antiferromagnetischen Schichten 11 bzw. 18 in entgegengesetzten Richtungen fixiert werden müssen, da der gespeicherte Inhalt durch die Magnetisierungsrichtung des geschlossenen Kreises aus der ferromagnetischen Schicht 14 und der Magnetkreis-Erzeugungsschicht 15 repräsentiert ist.

Eine derartige Magnetisierung wird dadurch erzielt, dass

für die antiferromagnetischen Schichten **11**, **18** Materialien mit verschiedenen Temperaturen (Sperrtemperaturen) Tb verwendet werden, bei denen die Austauschkopplung verschwindet.

Nachfolgend wird ein Beispiel erläutert, bei dem für die antiferromagnetische Schicht **11** PtMn verwendet ist, während für die antiferromagnetische Schicht **18** IrMn verwendet ist. PtMn ist ein antiferromagnetisches Material mit einer geordneten Phase vom AuCu-I-Typ mit einer Sperrtemperatur Tb1 von 380°C. Andererseits ist IrMn ein antiferromagnetisches Material mit raumzentrierter kubischer Struktur mit einer Sperrtemperatur Tb2 von 270°C.

Die ferromagnetischen Schichten **14**, **15**, **12** und **17** werden auf die folgende Weise magnetisiert. Als Erstes werden diese Schichten, um die aus einem PtMn-Film bestehende antiferromagnetische Schicht **11** zu ordnen, nachdem alle Schichten **11** - **18** im selben Vakuum hergestellt wurden, einer Wärmebehandlung für 6 Stunden bei 250°C unterzogen, während ein Magnetfeld in einer Richtung angelegt wird. Im Ergebnis wird der PtMn-Film (die antiferromagnetische Schicht **11**) geordnet, und während des Abkühlprozesses werden die Spins in diesem Film ausgerichtet, während Beeinflussung durch die Magnetisierung der in der Richtung des angelegten Magnetfelds ausgerichteten ferromagnetischen Schicht **12** besteht. Die sich ergebende Austauschkopplung fixiert die Magnetisierung der ferromagnetischen Schicht **12** in der Richtung des angelegten Magnetfelds.

Als Nächstes werden die Schichten erneut auf eine Temperatur zwischen Tb2 und Tb1 erwärmt und dann abgekühlt (180°), während ein Magnetfeld in der Richtung entgegengesetzt zu derjenigen des bei der ersten Wärmebehandlung angelegten Magnetfelds angelegt wird. Während des Abkühlprozesses werden die Spins in der aus dem IrMn-Film bestehenden antiferromagnetischen Schicht **18** erneut unter dem Einfluss der Magnetisierung der in der entgegengesetzten Richtung ausgerichteten benachbarten ferromagnetischen Schicht **17** ausgerichtet. Im Ergebnis wird die Magnetisierung der benachbarten ferromagnetischen Schicht **17** in einer Richtung antiparallel zur Richtung fixiert, in der die ferromagnetische Schicht **17** bei der ersten Wärmebehandlung magnetisiert wurde.

Gleichzeitig bleiben, da die Temperatur der zweiten Wärmebehandlung niedriger als Tb1 ist, die Anfangsrichtungen der Magnetisierungen der antiferromagnetischen Schicht **11** aus PtMn und der zugehörigen ferromagnetischen Schicht **12**, wie durch die erste Behandlung erzielt, erhalten, ohne dass eine Beeinflussung durch die zweite Wärmebehandlung besteht. Im Ergebnis werden die Magnetisierungsrichtungen der ferromagnetischen Schichten **12** und **17** antiparallel zueinander.

Für die Materialien der antiferromagnetischen Schichten und das Verfahren zur Magnetisierungsausrichtung besteht keine Beschränkung auf das Vorstehende, solange die zwei antiferromagnetischen Schichten über verschiedene Sperrtemperaturen Tb (Tb1 und Tb2) verfügen. Ferner kann als Verfahren zur Magnetisierungsausrichtung zusätzlich zum Verfahren, bei dem die antiferromagnetische Schicht einer Wärmebehandlung in einem Magnetfeld unterzogen wird, diese Magnetisierungsausrichtung auch dadurch erzielt werden, dass die Magnetisierungsrichtungen bei der Filmherstellung kontrolliert werden oder die obigen Verfahren in Kombination verwendet werden. Der Fachmann erkennt, dass eine Wärmebehandlung zum Ordnen des Films weggelassen werden kann, wenn ein Film aus einer ungeordneten Legierung verwendet wird, abweichend vom Fall, bei dem ein Film aus einer geordneten Legierung verwendet wird.

Es ist bevorzugt, dass die ferromagnetischen Schichten **12**, **14** und **17** und die Magnetkreis-Erzeugungsschicht **15**

Filmdicken von mindestens 1 nm aufweisen. Der Grund hierfür besteht darin, dass dann, wenn die Filmdicke zu gering ist, diese ferromagnetischen Schichten durch den Einfluss der thermischen Energie superparamagnetisch werden.

Ferner ist es bevorzugt, dass die Isolierschichten **13** und **16** eine Filmdicke im Bereich von 0,3 bis 3 nm, einschließlich, aufweisen. Der Grund hierfür ist der folgende. Wenn die Isolierschichten **13** und **16** eine Filmdicke unter 0,3 nm aufweisen, besteht die Möglichkeit, dass die ferromagnetischen Schichten **12** und **14** oder die Magnetkreis-Erzeugungsschicht **15** und die ferromagnetische Schicht **17** elektrisch kurzgeschlossen werden. Andererseits tritt kaum ein Tunneln von Elektronen auf, wenn die Isolierschichten **13** und **16** eine Filmdicke über 3 nm aufweisen, was zu einer Verringerung der Magnetowiderstandsverhältnisse führt.

Ferner ist es, wie unten beschrieben, möglich, wenn die ferromagnetischen Schichten **12** und/oder **17** aus zwei ferromagnetischen Schichten aufgebaut werden, die Erzeugung von Magnetpolen an ihren Endabschnitten wirkungsvoll zu verhindern. Selbst wenn die ferromagnetische Schicht aus drei oder mehr Schichten besteht, ist es möglich, eine Erzeugung von Magnetpolen an den Endabschnitten dadurch wirkungsvoll zu verhindern, dass die Dicken der aufbauenden ferromagnetischen Schichten eingestellt werden.

Ferner ist es beim MTJ-Element **2** des vorliegenden Beispiels auch möglich, eine Struktur zu verwenden, wie sie in den Fig. 7 und 8 dargestellt ist, bei der die ferromagnetische Schicht **14** und die Magnetkreis-Erzeugungsschicht **15** an ihren entgegengesetzten Endabschnitten über jeweilige ferromagnetische Schichten **19**, **19'** miteinander verbunden sind, jedoch in ihren mittleren Abschnitten voneinander getrennt oder beabstandet sind.

Fig. 9 zeigt schematisch einen wesentlichen Teil einer magnetischen RAM-Zelle, die das MTJ-Element **2** des Beispiels als Speicherzelle verwendet. Obwohl ein Magnetspeicher tatsächlich viele Speicherzellen enthält, ist in Fig. 9 der Einfachheit halber nur ein Teil mit einer einzelnen Speicherzelle dargestellt.

Ein Transistor **31** spielt die Rolle des Auswählens des zugehörigen MTJ-Elements **2** beim Lesen von Information. Im MTJ-Element **2** der Fig. 6 ist Information gemäß "0" oder "1" als Magnetisierungsrichtung der ferromagnetischen Schicht **14** des MTJ-Elements **2** gespeichert. Die Magnetisierungsrichtungen der ferromagnetischen Schichten **12** und **14** sind fixiert. Die Information wird unter Verwendung des Magnetowiderstandseffekts dadurch gelesen, dass der Widerstand niedrig ist, wenn die Magnetisierung der ferromagnetischen Schicht **12** und **14** parallel sind und auch die Magnetisierungen der ferromagnetischen Schicht **17** und der Magnetkreis-Erzeugungsschicht **15** parallel sind, wohingegen der Widerstand hoch ist, wenn sie antiparallel sind. Andererseits erfolgt ein Schreibvorgang durch Umkehren der Magnetisierungsrichtungen der ferromagnetischen Schicht **14** und der Magnetkreis-Erzeugungsschicht **15** durch das sich ergebende Magnetfeld, das durch eine Bitleitung **32** und eine Wortleitung **33** erzeugt wird. Eine Plattenleitung trägt die Bezugszahl **34**.

Fig. 10 zeigt ein Beispiel für die Positionierung der Bitleitung **32** und der Wortleitung **33**.

In Fig. 10 sind die Bitleitung **32** und die Wortleitung **33** innerhalb des mittleren Spalts G durch den Isolierfilm **10** hindurch positioniert. Durch diese Vorgehensweise ist die zum Umkehren der Magnetisierungsrichtung der ferromagnetischen Schicht **14** und der Magnetkreis-Erzeugungsschicht **15** erforderliche Stromstärke gesenkt, wie oben beschrieben. So kann der Energieverbrauch des Magnetspeichers gesenkt werden. Beim Beispiel der Fig. 10 ist die Wortleitung **33** oberhalb der Bitleitung **32** positioniert.

Ferner sind die Bitleitung 32 und die Wortleitung 33 elektrisch gegeneinander und die Isolierschicht 10 auch gegen die ferromagnetische Schicht 14 und die Magnetkreis-Erzeugungsschicht 15 isoliert.

Für die Positionierung der Bitleitung und der Wortleitung besteht keine Beschränkung auf die in Fig. 10 dargestellte Weise. Es ist auch möglich, die Bitleitung und die Wortleitung so zu positionieren, dass sie koplanar liegen. Alternativ können beide Leitungen oder eine derselben außerhalb des MTJ-Elements in dessen Nähe vorhanden sein, was zu einer Vereinfachung des Herstellprozesses führt.

### Beispiel 3

Gemäß Fig. 11 besteht das MTJ-Element 3 gemäß dem Beispiel 3 im Wesentlichen aus einer antiferromagnetischen Schicht 21, einer ferromagnetischen Schicht 22, einer Isolierschicht 23, einer als Speicherschicht dienenden ferromagnetischen Schicht 24, einer unmagnetischen Schicht, einer Magnetkreis-Erzeugungsschicht 25, einer unmagnetischen Schicht 20, einer Isolierschicht 26, einer ferromagnetischen Schicht 27 und einer antiferromagnetischen Schicht 28. Die ferromagnetische Schicht 24 und die Magnetkreis-Erzeugungsschicht 25 sind an ihren entgegengesetzten Endabschnitten direkt miteinander verbunden, jedoch in ihren mittleren Abschnitten voneinander getrennt oder beabstandet, um, wie bei den vorigen Beispielen, zwischen ihnen einen Spalt G zu bilden. Dieser Spalt G ist mit der unmagnetischen Schicht 20 (einer Isolierschicht bei diesem Beispiel) gefüllt.

Wenn die Magnetkreis-Erzeugungsschicht 25 auf die in Fig. 11 dargestellte Weise auf die ferromagnetische Schicht 24 gelegt ist, ist es möglich, dass die Magnetisierungen dieser zwei Schichten 24 und 25 einen geschlossenen Kreis bilden. Im Ergebnis ist es möglich, die Erzeugung von Magnetpolen an den entgegengesetzten Endabschnitten der ferromagnetischen Schicht 24 zu vermeiden.

Abweichend vom MTJ-Element 2 beim Beispiel 2 verfügt die ferromagnetische Schicht 22 beim MTJ-Element 3 des Beispiels 3 über zwei ferromagnetische Schichten 22a und 22c, die über eine Metallschicht 22b antiferromagnetisch miteinander gekoppelt sind. Die ferromagnetische Schicht 22c ist mit der antiferromagnetischen Schicht 21 austauschgekoppelt. Ferner sind, ähnlich wie beim Beispiel 2, die antiferromagnetische Schicht 28 und die ferromagnetische Schicht 27 miteinander austauschgekoppelt.

D. h., dass die ferromagnetische Schicht 27 eine fixierte Schicht ist, deren Magnetisierung durch Austauschkopplung mit der ferromagnetischen Schicht 28 fixiert ist. Die Magnetisierung der ferromagnetischen Schicht 22c ist durch Austauschkopplung mit der antiferromagnetischen Schicht 21 fixiert. Ferner ist die ferromagnetische Schicht 22a über die Metallschicht 22b mit der ferromagnetischen Schicht 22c antiferromagnetisch gekoppelt, so dass die Magnetisierung der ferromagnetischen Schicht 22a in einer Richtung entgegengesetzt zu der der ferromagnetischen Schicht 22c fixiert ist.

Das MTJ-Element 3 speichert Information entsprechend der Magnetisierungsrichtung des geschlossenen Kreises aus der ferromagnetischen Schicht 24 und der Magnetkreis-Erzeugungsschicht 25. Die gespeicherte Information wird dadurch gelesen, dass eine Änderung des Widerstands erfasst wird, der durch die Magnetisierungsrichtung des geschlossenen Kreises aus der ferromagnetischen Schicht 24 und der Magnetkreis-Erzeugungsschicht 25 hervorgerufen wird, die parallel oder antiparallel zu den Magnetisierungsrichtungen der ferromagnetischen Schichten 22a und 27 ist.

Um die gespeicherte Information durch Erfassen einer

derartigen Widerstandsänderung zu lesen, muss die Magnetisierungsrichtung der ferromagnetischen Schicht 22c in derselben Richtung wie der der ferromagnetischen Schicht 27 fixiert sein.

Daher ermöglicht es, gemäß dem Beispiel 3, eine einmalige Behandlung oder das Anlegen eines Magnetfelds in derselben Richtung, die Magnetisierungsrichtung der ferromagnetischen Schichten 22 und 27 zu fixieren. Daher kann der Prozess im Vergleich zu dem beim Beispiel 2 vereinfacht werden.

Beim Beispiel 3 besteht die ferromagnetische Schicht 22 aus zwei ferromagnetischen Unterschichten, zwischen die eine Metallschicht eingefügt ist, und die ferromagnetische Schicht 27 besteht aus einer einzelnen Schicht. Jedoch kann derselbe Effekt auch dann erzielt werden, wenn beide ferromagnetischen Schichten 22 und 27 zwei oder mehr ferromagnetische Unterschichten enthalten, solange diese zwei, als fixierte Schichten dienende ferromagnetischen Schichten 22 und 27 so ausgebildet sind, dass die Anzahl der ferromagnetischen Unterschichten zwischen diesen Schichten 22 und 27 um eins verschieden ist.

Ferner kann beim Beispiel 3 für die antiferromagnetischen Schichten 21 und 28 dasselbe antiferromagnetische Material verwendet werden.

Ferner kann beim Beispiel 3, ähnlich wie beim Beispiel 2 (Fig. 7 und 8), das MTJ-Element eine solche Struktur aufweisen, bei der die ferromagnetische Schicht 24 und die Magnetkreis-Erzeugungsschicht 25 an ihren entgegengesetzten Endabschnitten über andere ferromagnetische Schichten miteinander verbunden sind, jedoch in ihren mittleren Abschnitten getrennt oder beabstandet sind.

Ähnlich wie die MTJ-Elemente 1 und 2 kann das MTJ-Element 3 für einen Magnetspeicher verwendet werden.

Obwohl bei den Beispielen 1 bis 3 nur ein wesentlicher Teil der MTJ-Elemente 1 bis 3 dargestellt und in der obigen Beschreibung erläutert ist, wird davon ausgegangen, dass es für den Fachmann ersichtlich ist, dass beim tatsächlichen Herstellen des Elements oder des Speichers das Anbringen anderer Bestandteile erforderlich ist, wie von Elektroden zum Liefern eines elektrischen Stroms, eines Substrats, einer Schutzschicht, einer Kleberschicht usw.

### Patentansprüche

1. MTJ-Element (1, 2, 3) mit:
  - einer ersten magnetischen Schicht (12, 22) und einer zweiten, als Speicherschicht dienenden magnetischen Schicht (14, 24); und
  - einer ersten Isolierschicht (13, 23), die zwischen der ersten und zweiten magnetischen Schicht angeordnet ist;
 gekennzeichnet durch
  - eine dritte magnetische Schicht (15, 25), die auf der von der ersten Isolierschicht abgewandten Seite der zweiten magnetischen Schicht vorhanden ist, um gemeinsam mit der zweiten magnetischen Schicht einen geschlossenen Magnetkreis zu bilden.
2. MTJ-Element nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die dritte magnetische Schicht (15, 25) mit der zweiten magnetischen Schicht (14, 24) an entgegengesetzten Enden derselben direkt oder über vierte magnetische Schichten (19, 19') verbunden ist, wobei der mittlere Abschnitt der dritten magnetischen Schicht von der zweiten magnetischen Schicht beabstandet ist.
3. MTJ-Element nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass in einem zwischen der zweiten magnetischen Schicht und dem mittleren Abschnitt der dritten

magnetischen Schicht gebildeten Spalt (G) mittels einer Isolierschicht (10) eine Leiterbahn (122, 123, 32, 33) angeordnet ist.

4. MTJ-Element nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine erste antiferromagnetische Schicht (11, 21) in Kontakt mit der von der ersten Isolierschicht (13, 23) abgewandten Fläche der ersten magnetischen Schicht (12, 22), wobei diese erste antiferromagnetische Schicht mit der ersten magnetischen Schicht austauschgekoppelt ist.

5. MTJ-Element nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die erste magnetische Schicht (22) aus mindestens zwei ferromagnetischen Unterschichten (22a, 22c) besteht, die über eine Metallschicht (22b) antiferromagnetisch miteinander gekoppelt sind.

6. MTJ-Element nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch:

- eine fünfte magnetische Schicht (17, 27), die auf der von der ersten magnetischen Schicht (12, 22) abgewandten Seite der dritten magnetischen Schicht (15, 25) ausgebildet ist; und

- eine zweite Isolierschicht (16, 26), die zwischen der dritten und fünften magnetischen Schicht (15 und 17, 25 und 27) angeordnet ist.

7. MTJ-Element nach Anspruch 6, gekennzeichnet durch:

- eine erste antiferromagnetische Schicht (11, 21) in Kontakt mit der von der ersten Isolierschicht (13, 23) abgewandten Seite der ersten magnetischen Schicht (12, 22), wobei diese erste antiferromagnetische Schicht mit der ersten magnetischen Schicht austauschgekoppelt ist; und

- eine zweite antiferromagnetische Schicht (18, 28) in Kontakt mit der von der zweiten Isolierschicht (16, 26) abgewandten Seite der fünften magnetischen Schicht (17, 27), wobei diese zweite antiferromagnetische Schicht mit der fünften magnetischen Schicht austauschgekoppelt ist.

8. MTJ-Element nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur, bei der die Austauschkopplung der ersten antiferromagnetischen Schicht (11, 21) mit der ersten ferromagnetischen Schicht (12, 22) verschwindet, von der Temperatur verschieden ist, bei der die Austauschkopplung der zweiten antiferromagnetischen Schicht (18, 28) mit der fünften ferromagnetischen Schicht (17, 27) verschwindet.

9. MTJ-Element nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass von der ersten magnetischen Schicht und der fünften magnetischen Schicht mindestens eine (22) aus mindestens zwei ferromagnetischen Unterschichten (22a, 22c) besteht, die über eine Metallschicht (22b) antiferromagnetisch miteinander gekoppelt sind.

9. MTJ-Element nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die dritte magnetische Schicht (15, 25) mit der zweiten magnetischen Schicht (14, 24) an den entgegengesetzten Enden unmittelbar oder über vierte magnetische Schichten (19, 19') verbunden ist, wobei der mittlere Abschnitt der dritten magnetischen Schicht von der zweiten magnetischen Schicht beabstandet ist.

10. MTJ-Element nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die dritte magnetische Schicht (15, 25) mit der zweiten magnetischen Schicht (14, 24) an den entgegengesetzten Enden unmittelbar oder über vierte magnetische Schichten (19, 19') verbunden ist, wobei der mittlere Abschnitt der dritten magnetischen Schicht von der zweiten magnetischen Schicht beabstandet ist.

11. MTJ-Element nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass in einem zwischen der zweiten magne-

tischen Schicht und dem mittleren Abschnitt der dritten magnetischen Schicht gebildeten Spalt (G) mittels einer Isolierschicht (10) eine Leiterbahn (32, 33) angeordnet ist.

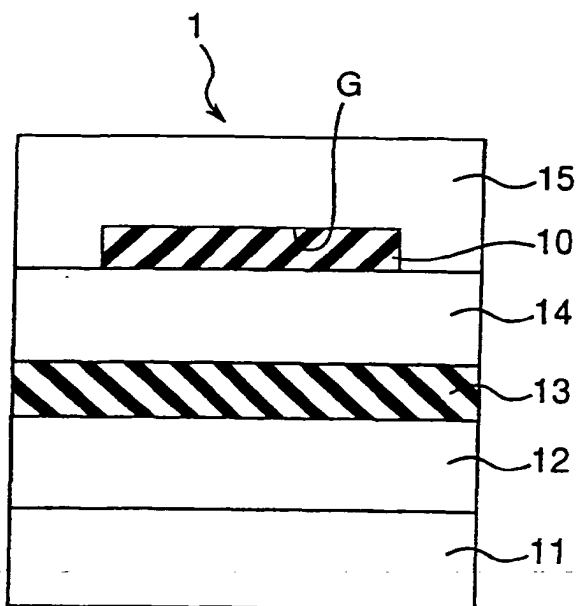
12. Magnetspeicher, dadurch gekennzeichnet, dass er als Speicherzelle ein MTJ-Element (1, 2, 3) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche aufweist.

---

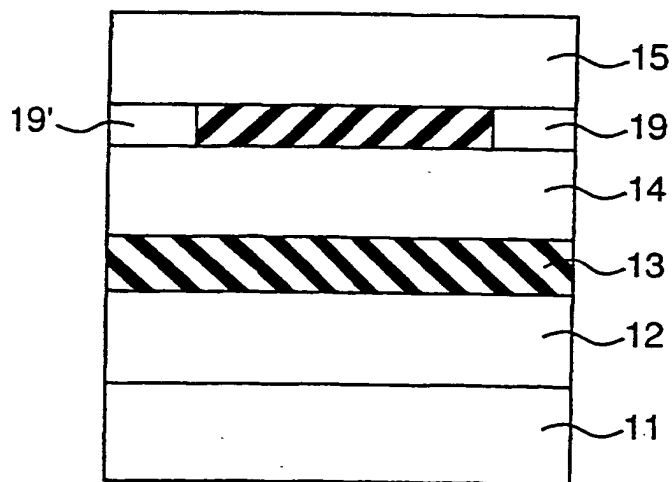
Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

---

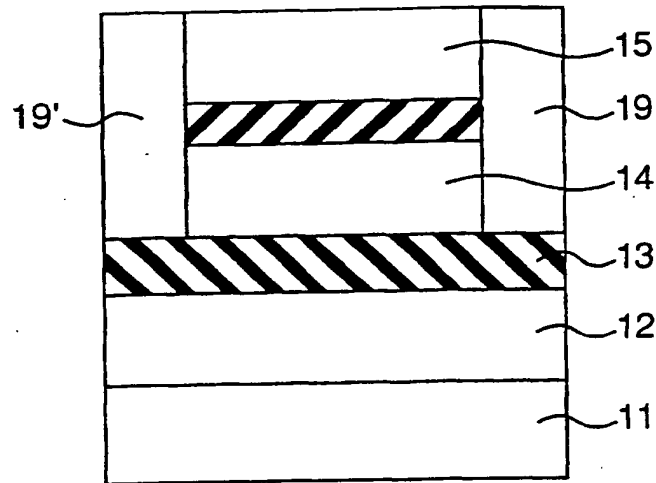
*Fig. 1*



*Fig. 2*



*Fig.3*



*Fig.4*

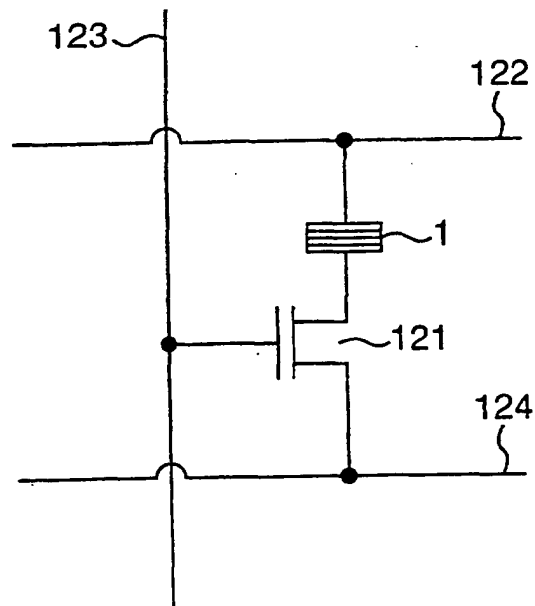


Fig.5

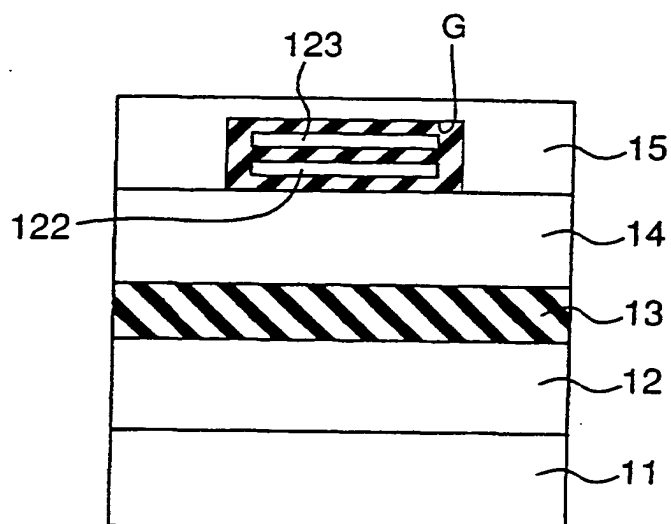


Fig.6

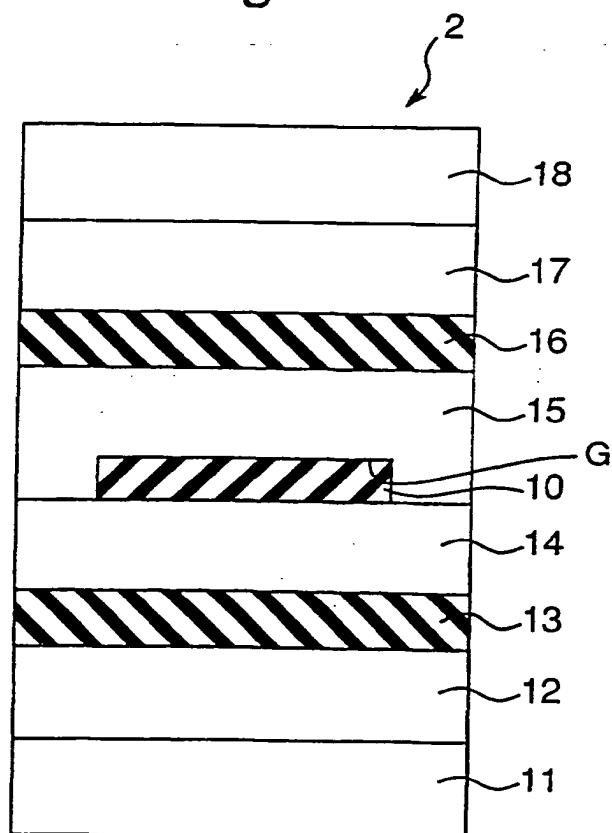


Fig.7

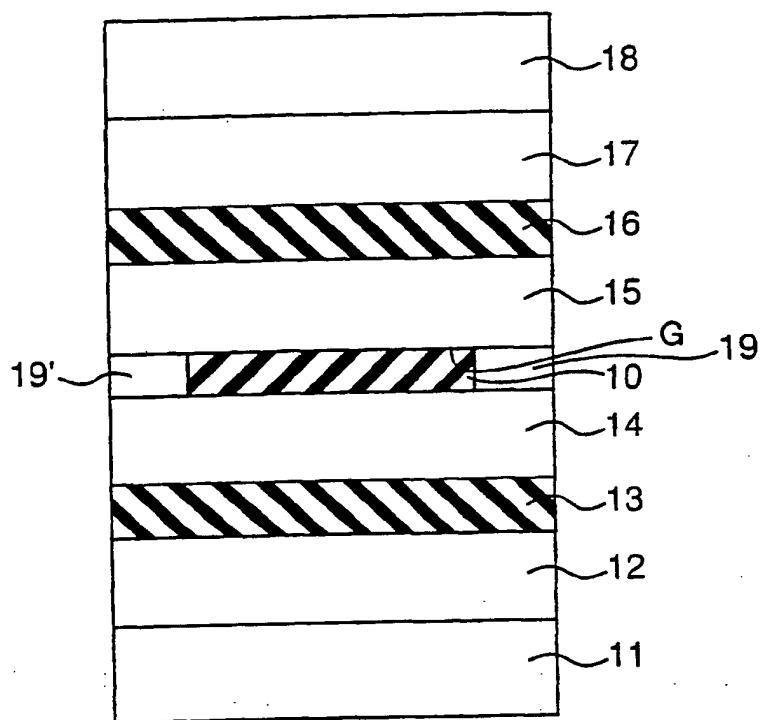


Fig.8

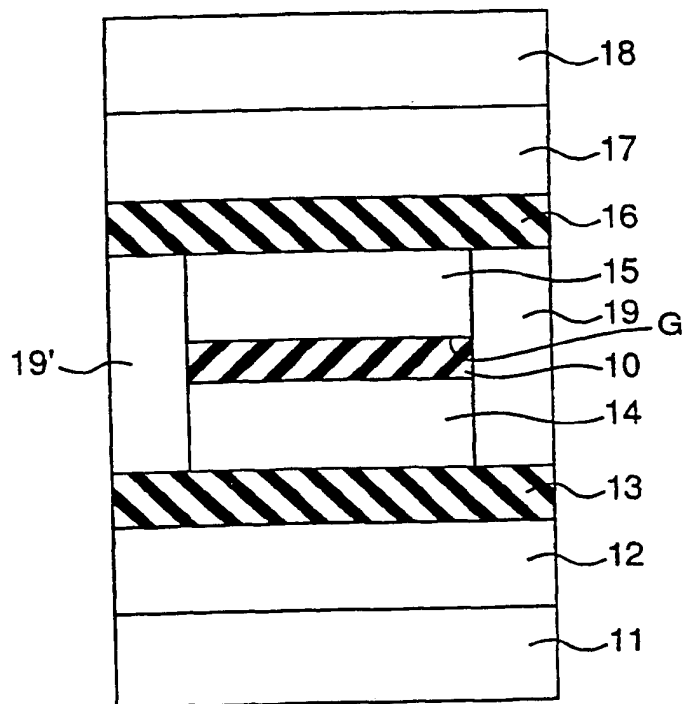


Fig. 9

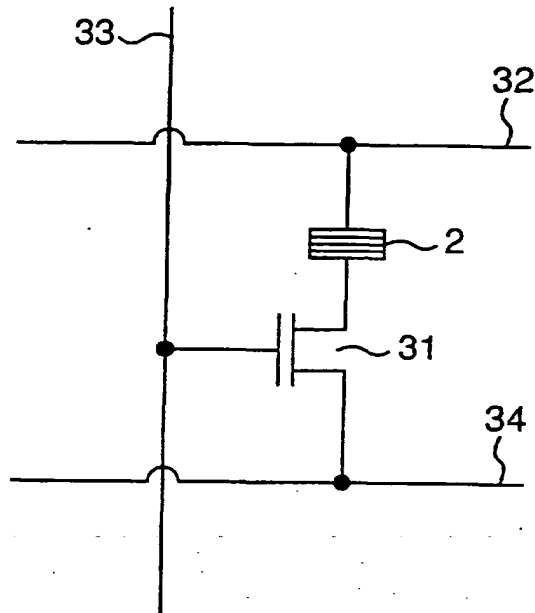


Fig. 10

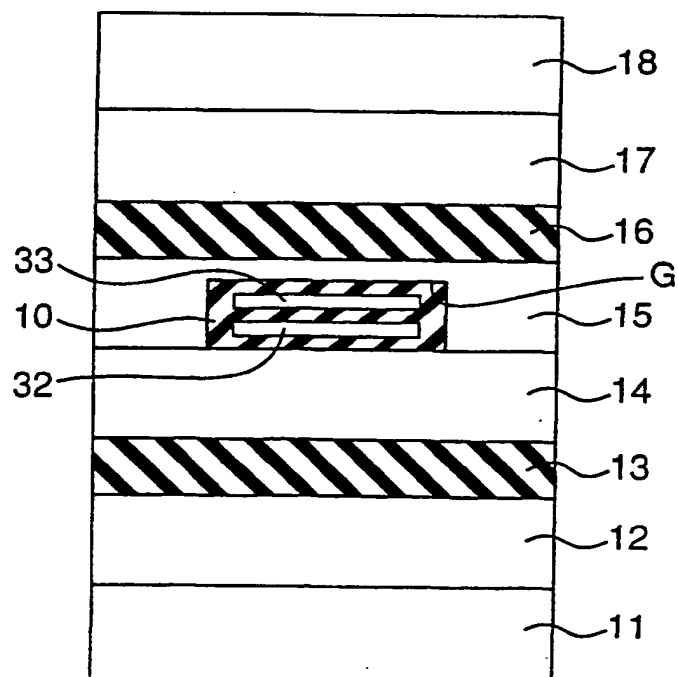
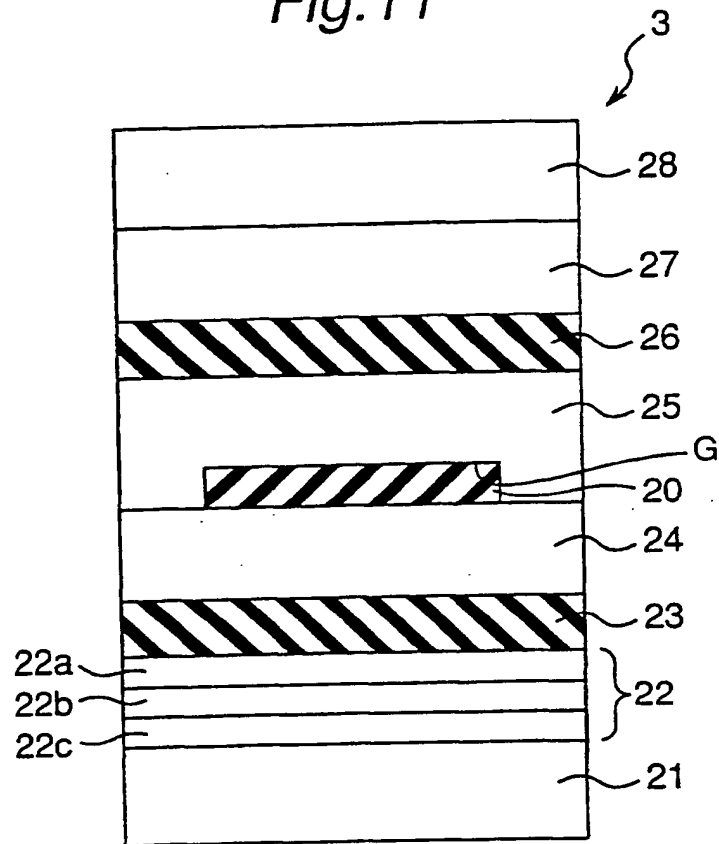
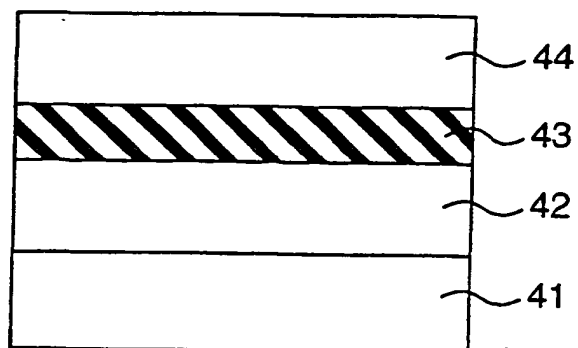


Fig. 11



*Fig.12*



*Fig.13*

